

**VIDEOKYMOGRAPHIE
EINE NEUE DIAGNOSTISCHE METHODE IN
DER RÖNTGENDIAGNOSTIK**

Hildegard Schröffel

1974



Digitized by the Internet Archive
in 2026

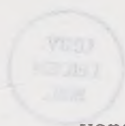
https://archive.org/details/IA41551921_0117

AUS DER KLINIK UND POLIKLINIK FÜR RADIOLOGIE
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Prof. Dr. J. Lissner

VIDEOKYMOGRAPHIE EINE NEUE DIAGNOSTISCHE METHODE IN
DER RÖNTGENDIAGNOSTIK

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München



vorgelegt von
Hildegard Schröffel
aus Fischach

1974

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. J. Lissner

Mitberichterstatter: --

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 26.11.1974



MEINEN LIEBEN ELTERN
IN DANKBARKEIT GEWIDMET

INHALT

Seite

A) EINLEITUNG	1
---------------	---

B) THEORETISCHER TEIL	2
-----------------------	---

Bisher in der Röntgendiagnostik angewandte kymographische Verfahren.

1. Einschlitzkymographie	2
2. Mehrschlitzkymographie	2
3. Stufenkymographie	3
4. Kombination aus Flächenkymogramm und Einschlitzkymographen	4
5. Angiokymographie	4
6. Elektrokymographie	5
7. Videodensitometrie	6

C) EXPERIMENTELLER TEIL	7
-------------------------	---

1. Vorüberlegungen zur Einführung der Videokymographie in die Röntgendiagnostik	7
2. Technische Realisierung der Videokymographie	8
3. Anschluß des Videokymographiegerätes an einen Durchleuchtungsarbeitsplatz	10
4. Fotografische Registrierung des Videokymographiebildes	11
5. Vergleich der Videokymographie mit der Direktkymographie	11
6. Vergleich der Dosisbelastung des Patienten bei der Video- bzw. Direktkymographie	13
7. Elektronenoptisch umschaltbarer Bildverstärker und seine Auswirkung auf die Videokymographie	13
8. Vorteile der Videokymographie gegenüber der Direktkymographie bei wählbarer Zeilen- bzw. Bleischlitz- rasterfrequenz	
9. Angiocardio-Videokymographie	15
a) Angiocardio-Videokymographie bei Hunden	15
b) Durchführung der Angiocardio-Videokymographie beim Menschen	16

	Seite
10. Anwendung der Videokymographie zur Durchflußmessung in der Angiographie	17
11. Funktionsdarstellung des Ösophagus mit Hilfe der Videokymographie	20
12. Videokymographie der Zwerchfelle	20
13. Videokymographie des Magens	22
D) DISKUSSION	23
E) ZUSAMMENFASSUNG	25
ABBILDUNGEN	26
LITERATUR	35

A) EINLEITUNG

Die Kymographie stellt ein einfaches Verfahren dar, um funktionelle Vorgänge auf einem Bild zusammenzufassen. Sie ist heute trotz Röntgenkymographie und Angiocardiographietechnik noch nicht überholt, da sie eine rasch durchführbare Routinemethode darstellt, die in der Vorfelddiagnostik von Herz und Gefäßen eingesetzt werden kann und manchen wertvollen diagnostischen Hinweis ergibt.

Das bisherige Verfahren war jedoch von der Strahlenhygiene her betrachtet, mit einem großen Nachteil behaftet. Die Dosis einer Röntgenkymographieaufnahme ist der von ca. 10 einzelnen Röntgenaufnahmen gleichzusetzen.

Um diesen Nachteil zu umgehen, wurde überlegt, ob man dieses Verfahren nicht in das Fernsehen übersetzen kann, um eine wesentlich geringere Dosisbelastung zu erreichen. In dieser Arbeit wird die Übertragung der Kymographie in das Fernsehen beschrieben, die klinische Brauchbarkeit in der Routine erprobt und weitere Anwendungsbereiche in der Röntgendiagnostik untersucht.

B) THEORETISCHER TEIL

Bisher in der Röntgendiagnostik angewandte kymographische Verfahren

1. Einschlitzkymographie

Die Röntgenkymographie ist eine Methode, hauptsächlich zur Analyse von Randbewegungen eines röntgendichten Organs. Diese Randbewegungen werden graphisch in Form einer Welle aufgezeichnet. Die einfachste Vorrichtung einen solchen Vorgang aufzuzeichnen wurde von Sabath, Gött und Rosenthal (1, 2) mit dem sogenannten Einschlitzkymographen geschaffen. Dieses Gerät ist wegen seiner Einfachheit auch geeignet, das Prinzip der Röntgenkymographie am besten darzulegen. Das wichtigste Bauelement des Einschlitzkymographen ist eine Bleiplatte, die in ihrer Mitte einen strahlendurchlässigen Schlitz aufweist. Der Film wird dazu in einer bestimmten gleichmäßigen Geschwindigkeit nach unten vorbeibewegt. Vom gesamten Strahlenbüschel, das aus der Röntgenröhre austritt, trifft nur ein der Schlitzgröße entsprechendes Strahlenbündel den Film und schwärzt denselben bandförmig, von oben nach unten, entsprechend der Bewegungsgeschwindigkeit des Filmes. Das Herz des Patienten bewegt sich während der Exposition und der Herzabschnitt, in dessen Höhe sich der horizontal gelegene Schlitz befindet, verursacht eine an den Seiten wellenförmige, insgesamt bandförmige Aufhellung (Dichte des Herzens gegenüber der Lunge). Würde sich das Herz während der Aufnahme nicht bewegen, so käme nur eine zu den Seiten glatte, bandförmige Aufhellung auf dem Film zustande. Diese welligen Bewegungen sind eine Funktion der Ablaufgeschwindigkeit des Films und der entsprechenden Bewegungsform des untersuchten Organs.

2. Mehrschlitzkymographie

Die Art des Einschlitzkymographen wurde wiederholt abgeändert. Die Anzahl der Schlitze wurde vermehrt. Der von Stumpf (3, 4) entwickel-

te Flächenkymograph, brachte eine wesentliche Verbesserung des kymographischen Verfahrens, da durch eine Vielzahl von Schlitzzen die Belichtungszeit wesentlich heruntersetzt und das gesamte Bewegungsobjekt abgebildet wird. Bei dem bewegten Objekt oder Organ werden die ganzen Silhouetten abgebildet und zeigen an den Rändern die der Bewegung entsprechenden Kurven. Die sich nicht bewegende Umgebung wird als normales Röntgenbild wiedergegeben, so daß eine anatomische Organbeurteilung möglich ist. Die Flächenkymographie fand breiten Eingang in die Klinik. Der ursprüngliche Einschlitzraster wurde durch ein Mehrschlitzraster ersetzt, wobei die einzelnen Schlitzze den gleichen Abstand zueinander haben. An Stelle des Films wird der Raster bewegt. Dadurch werden nacheinander sämtliche Schichten der eingestellten Körperregion auf dem Film abgebildet. Es ergibt sich also ein atomisches Gesamtbild, auf dem, im Gegensatz zur gewöhnlichen Röntgenaufnahme, die Organbewegungen mit dargestellt werden.

3. Stufenkymographie

Von Stumpf wurde auch die Stufenkymographie geschaffen. Der prinzipielle Unterschied zur Flächenkymographie ist bei dem Vorgang der Bildentstehung ein feststehender Beschlitzraster und dafür eine kontinuierliche Verschiebung des Films in einer Richtung. Da auch das Aufnahmeobjekt außer den bewegten Anteilen (z. B. das Herz) am gleichen Ort verharret, werden durch die Schlitzraster immer dieselben Stellen auf dem Film abgebildet. Die Stufen, z. B. beim Herzen, kommen dadurch zustande, daß vom Herzen, das normalerweise kontinuierliche Übergänge hat, nur einzelne Streifen, mit einigem Abstand zum nächsten herausgeschnitten werden und diese Stellen außerdem auf dem Film, der sich an dem Schlitz vorbeibewegt als Streifen von mehreren Zentimetern aufgenommen werden. Im Abstand zum nächsten Streifen, bzw. Schlitz, hat sich das Organ je nach Form um ein der Stufe entsprechendes Stück verjüngt oder verbreitert. Daraus ergibt sich auch schon der Nachteil der Stufenkymographie, die naturgemäß eine exakte anatomische Organbeurteilung ausschließt.

4. Kombination aus Flächenkymogramm und Einschlitzkymographen

Mit Hilfe des Einschlitzkymogramms ist eine exakte und feine Analyse der Herzrandbewegung eher möglich als mit Hilfe des Mehrschlitzkymographen. Durch eine entsprechend veränderte Ablaufgeschwindigkeit des Films kann die Herzrandkurve beliebig zeitlich gedehnt werden und erlaubt damit die schon erwähnte Feinstanalyse. Von Cignolini (5, 6) wurde ein Spezialkymograph beschrieben, bei dem das Flächenkymogramm mit dem Einschlitzkymographen kombiniert wird. Der Kymograph nach Cignolini funktioniert relativ einfach. Es läuft zunächst ein Mehrschlitzraster ab und es bleiben bei der Anfertigung des Flächenkymogramms bestimmte, am Herzrand interessierende Felder durch eine Bleiabdeckung ausgespart. Diese unbelichteten Stellen werden mit einem Einschlitzkymographen belichtet. Auf diese Weise wird in ein Flächenkymogramm an bestimmten Stellen ein Einschlitzkymogramm hineingeschrieben, das als Ausschnitt den entsprechenden Herzrand vergrößert wiedergibt. Neben dem Übersichtskymogramm erlauben also die Einschlitzkymogramme eine analytische Feindiagnostik.

5. Angiokymographie

Böhme verwendete zum ersten Male die Röntgenkymographie mit dem flächenkymographischen Prinzip für die Untersuchung der Blutströmung in den großen Venen. Von Günthert und Zimmer (7) wird die Strömungsmessung mit Hilfe des Kymographen als Strömungskymographie bezeichnet, doch weisen die Autoren zu Recht darauf hin, daß eine Messung der Flüssigkeitsströmung keine eigentliche kymographische Untersuchungsmethode ist, da die Flüssigkeitsströmung grundsätzlich nur eine geringste Bewegung darstellt. Der Röntgenkymograph wird gewissermaßen als Hilfsmittel zur Registrierung der Blutströmung gebraucht. Diese Autoren geben auch eine Definition des Begriffes "Strömungskymographie".

Ein Strömungskymogramm gibt die gerichtete Bewegung einer Kontrastmittelsäule wieder, so daß daraus die Blutströmungsgeschwind-

digkeit berechnet werden kann. Günthert und Zimmer haben auch die theoretischen Grundlagen mit umfangreichen Modellexperimenten für die klinische Anwendung der Angiokymographie geschaffen. Von Büchner (8, 9) wurde ein spezieller Angiokymograph für die Klinik geschaffen in einem Format von 30 x 90 cm, der die kymographische Registrierung aller Füllungsvorgänge und Strömungsverhältnisse innerhalb eines Gefäßgebietes erfaßt.

Die Werte für die Strömungsgeschwindigkeit lassen sich nach der von Günthert und Zimmer angegebenen Formel für die Rasterverschiebungskymographie berechnen:

$$\frac{V}{KM} = \frac{n \times r}{(n - m)} \cdot T/m =$$

Distanz zwischen den beiden Nulllinien, die die zu untersuchende Gefäßstrecke begrenzen.

n = Abstand der beiden korrespondierenden Kontrastmittelschatten

r = Rasterfeldbreite

T = Belichtungszeit z. B. Ablaufzeit des Kymographen

V = Strömungsgeschwindigkeit des Kontrastmittels.

KM

Die in dieser Form zu Grunde liegende allgemeine Formel für Geschwindigkeitsberechnungen ist

$$V = \frac{s}{t} .$$

Der Weg S im Kymogramm wird indirekt durch n , m und r angegeben.

6. Elektrokymographie

Die Elektrokymographie ist gleichfalls eine geeignete Methode, die Bewegungen des Herzens analytisch zu erfassen. Das Prinzip dieses Verfahrens ist die Registrierung der Dichteschwankung, die z. B. ein Herzrand auf dem Leuchtschirm verursacht. Hierzu wird eine Photozelle verwandt, die die Helligkeitsschwankungen in elektrischen Strom umsetzt der über einen Verstärker in Form einer Kurve aufgezeichnet

wird. Dieses Verfahren wurde von Jakobi erstmals erwähnt und von Heckmann, Lissner, Haubrich und Dussaillant in größeren Übersichten dargestellt (10, 11, 12, 13, 14, 15). Die Herzrandbewegungen ergeben im elektrokymographischen Bild charakteristische Kurvenformen, wobei die Höhe der Amplitude der Pulsationskurven keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Herzrandbewegung erlauben. Eine quantitative Auswertung der Kurven ist nicht ohne weiteres möglich. Quantitative Verfahren hierzu wurden von Lissner, Morgan, Sturm und Zaretsky angegeben. Außerdem wurde von Heckmann eine phasenanalytische Methode eingeführt, die synoptisch sämtliche Kurven in der elektrokymographischen Aufzeichnung vereinigt und die räumliche Darstellung der Bewegung des Herzens widerspiegelt.

7. Videodensitometrie

Mit der zunehmenden Verbreitung des Bildverstärkerfernsehsystems war es möglich, Dichteänderungen auch mit dem Fernsehsignal zu erfassen und aufzuzeichnen. Anstelle der Photozelle wird dabei ein elektronisches Fenster auf den jeweils zu untersuchenden Herzrand gesetzt und die mittlere Helligkeitsänderung in dem Fensterfeld gleichfalls in Form einer Kurve registriert. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß eine Aufzeichnung des Herzens auf einem Videoband benützt werden kann und unter Mitverwendung eines Referenzsignals (Elektrocardiogramm) an einer oder mehreren Herzaktionen synchron einzelne Herzrandabschnitte untersucht werden können (16, 17). Dieses Verfahren wurde in Deutschland mit Erfolg von Lissner eingeführt.

Beide Verfahren, die Elektrokymographie und die Videodensitometrie bedeuten ein Umsetzen des Bewegungsvorganges am Herzen in eine Kurve, wobei lediglich die Funktion registriert wird, anatomische Einzelheiten aber nicht mehr mit übertragen werden.

Beide Untersuchungsverfahren erfordern einen, vor allem zeitlich, wesentlich größeren Aufwand gegenüber den bildlichen kymographischen Darstellungen.

C) EXPERIMENTELLER TEIL

1. Vorüberlegungen zur Einführung der Videokymographie in die Röntgendiagnostik

Die bisherigen Verfahren der bildlichen Kymographie in der Röntgendiagnostik sind auch heute trotz Elektrokymographie, Videodensitometrie, Röntgenkinematographie und Angiographie noch nicht überholt, da es relativ einfach anzuwendende Methoden sind, die vor allem für die Vorfelddiagnostik eine wesentliche Rolle spielen.

Die Anfertigung einer Röntgenkymographienaufnahme ist zwar nicht besonders schwierig, sie erfordert aber doch einige Handgriffe. Der größte Nachteil in der Röntgenkymographie war bislang die hohe Dosis, die vom strahlenhygienischen Standpunkt fast nicht mehr zu vertreten war. Der Kymographienaufnahme entspricht, wie bereits erwähnt, etwa die Dosis von 10 einzelnen Thoraxaufnahmen.

Es wurde deshalb überlegt, ob man sich nicht der Fernsehtechnik bedienen könne, um die enorme Dosisbelastung zu umgehen. Die technische Grundüberlegung, das bisherige Kymographieverfahren in die Fernsehtechnik zu übertragen, war die Tatsache, daß sich das Fernsehbild aus 625 Zeilen und das Direktkymographiebild ebenfalls aus einzelnen belichteten Streifen(auf Grund des Rasterablaufes der Bleischlitze) zusammensetzt.

Die Fernsehzeilen schienen dabei geeignet als Ersatz für die Raster-schlitze, wobei der Ablauf der Zeilen vom Sichtgerät durch eine photographische Aufnahme mit entsprechend langer Exposition das kymographische Gesamtbild wiedergeben sollte.

Eine andere Möglichkeit wäre auch eine Summierung der Zeilen auf einen elektronischen Speicher, z. B. auf Band oder Plattenspeicher gewesen. Den Zeilenablauf auf dem Fernsehmonitor, entsprechend dem Schlitzablauf beim Kymographieraster, sollte eine elektronische Vorrichtung steuern.

2. Technische Realisierung der Videokymographie

Diese theoretischen Grundüberlegungen ließen sich technisch relativ einfach realisieren.* Bei der Fernsehkyomographie ist das Leuchtdichtebild am Sichtgerät durch ein elektronisches Austastraster in der gleichen Weise unterbrochen worden, wie es bei der Direktaufnahme mittels Schlitzraster für das Strahlenbild geschieht. Ein solches elektronisches Kymoraster konnte mit Hilfe integrierter Schalttechnik einfach gestaltet werden. Man mußte der Bildwiedergaberöhre des Sichtgerätes eine Austasteinrichtung zuordnen, die das BAS-Signal derartig beeinflußt, daß eine Anzahl hellgetasteter Streifen auf der Wiedergaberöhre entstehen, von denen das gesamte Bildfeld während der Aufnahmedauer überstrichen wird.

Das wichtigste Prinzip des Aufbaus eines Videokymographiegerätes (Abb. 1) ist folgendes:

Vom vollständigen Videosignal, das von der Röntgen-Fernsehanlage, z. B. des Durchleuchtungsarbeitsplatzes, kommt, wird mittels einer Torschaltung nur der Signalanteil derjenigen Zeilen auf die Kathode der Bildröhre durchgelassen, die den Schlitten der Kymographiekassette bei der Direktkymographie entsprechen. Eine spezielle Impulselektronik hat für die Erzeugung der zeitrichtigen Schaltimpulse, für die Torschaltung zu sorgen. Das Zeilenhelltastraster kann direkt betrachtet werden, muß aber zur Bildbeurteilung mit einer Kamera aufgenommen werden. Der Verschluss der Kamera wird während der Ablaufzeit automatisch geöffnet.

Die dem Ablauf des Bleischlitzrasters des bisher mechanischen Kymographen entsprechende elektronische Helltastung der Fernsehzeilen mußte aus rationellen Gründen der bisher üblichen Fernsehastastnorm angepaßt werden. Ein Abweichen von den vom technischen Fernsehen her existierenden Normen, z. B. 625 Zeilen oder 825 bei einer Bildfrequenz von 50 Hertz, hätte einen zu großen technischen Aufwand für die Realisierung der Fernsehkyomographie bedeutet.

* Besonderer Dank für die Entwicklung und Überlassung des Videokymographiegerätes gilt an dieser Stelle der Firma Siemens, Erlangen, insbesondere den Herren Dr. Dünisch, Schott, Haendle, Horbaschek und Schwarz.

Da nur Röntgenbildverstärker mit einer Eingangsebene von 25 cm zur Verfügung standen, mußte diese Fläche zu dem bisherigen Kymographiebild in Beziehung gesetzt werden. Die Bildhöhe von 25 cm wurde in etwa 18 Streifen eingeteilt. Auf einen solchen Streifen entfallen dann auf dem Monitor, bei 625 Zeilen, etwa 32 Zeilen. Dieser Streifen muß zunächst dunkel geschaltet sein und erst bei dem durch eine spezielle Elektronik injizierten Rasterablauf alle 32 Teile nacheinander hell getastet werden, und zwar so, daß der Ablauf der Zeile in jedem Streifen synchron von oben nach unten erfolgt. Bei einem unbewegten Objekt entsteht dabei eine Aufnahme, die gleich dem normalen Fernsehdurchleuchtungsbild ist. Jede Zeile in den jeweils 18 Streifen gehört zu einem anderen Fernsehhalb-bild. So setzt sich jeder Streifen von 32 Zeilenbreite insgesamt aus 32 hell getasteten Halbbildern zusammen, die in der zeitrichtigen Ablaufzeit synchron durch die Impulselektronik ausgewählt werden. Die Ablaufzeiten ergeben sich durch die Fernsehnormen. Um sie für die Fernsekymographie anführen zu können, ist eine kurze Erläuterung der Abtastnorm des Fernsehens notwendig. Das Fernsehbild wird zeilenweise von oben nach unten getastet (Abb. 2). Am Bildende springt der abtastende Elektronenstrahl, der bei der Fernsehaufnahmeröhre und der Bildwiedergaberöhre synchron läuft, an den Bildanfang zurück, wobei dunkel getastet wird. Im nächsten Ablauf tastet der Abtaststrahl die dazwischenliegenden Zeilen ab. Ein Fernsehbild besteht deshalb aus zwei zeitlichen nacheinander abgetasteten Rastern mit jeweils der halben Zeilenzahl des Fernsehbildes. Diese beiden Teilbilderraster oder auch Halbbilder genannt erscheinen örtlich kammartig ineinander geschaltet auf dem Bildschirm des Sichtgerätes, weil infolge der Augen trägheit die zeitlich nacheinander folgenden Halbbilder zu einem Vollbild mit der doppelten Zeilenzahl zusammengefaßt werden. Diese Abtastart, die auch Zwischenzeilensystem genannt wird, wird beim Röntgenfernsehen und im kommerziellen Fernsehen angewandt, um den Übertragungsweg von Fernsehaufnahmeröhre zur Bildwiedergaberöhre eine um den Faktor zwei geringere elektrische Bandbreite zu erreichen. Der Wechsel der Bilder erfolgt bei der in der Bundesrepublik üblichen Fernsehnorm: 50 x/Sek., wobei jeweils 25 ganze Fernsehbilder (Vollbilder) je Sek. getragen werden. Die Zeilenzahl beträgt

für ein Vollbild 625 Zeilen, für das Halbbild entsprechend 312,5 Zeilen.

Bei den etwa 18 Streifen des Fernsehkyomographierasters und den dazugehörigen 32 Zeilen in einem Streifen benötigt man wie erwähnt insgesamt 32 Halbbilder für den Ablauf eines Streifens. Als kürzeste Ablaufzeit resultiert bei einer Halbbilddauer von 20 ml/Sek. eine Ablaufzeit von 0,64 Sekunden. (Diese Zeit ist z. B. für die Verwendung von Fernsehkyomographie zur Strömungsmessung später realisiert worden.) Eine längere Rasterablaufzeit kann bei der Fernsehkyomographie nur dadurch erreicht werden, daß abwechselnd Halbbilder, die zeitlich dazwischen liegen, völlig dunkel getastet werden. Für die nächst längere Ablaufzeit ergibt sich deshalb eine Zeit von 1,8 Sekunden. Diese ist zum Beispiel sinnvoll für die Herzkymographie, denn bei dieser müssen mindestens 2 Aktionen erfaßt werden. Da die Herzfrequenz im Mittel etwa 60 Schläge in der Minute beträgt, muß die untere Grenze für die Raster- bzw. Zeilenablaufzeit in einem Streifen über einer Sekunde liegen. 1,8 Sekunden und alle übrigen längeren Ablaufzeiten resultieren aus einem ungradzahligen Vielfachen von den anfangs erwähnten 0,64 Sekunden. Der oberen Begrenzung der Ablaufzeit ist technisch keine Grenze gesetzt. Abläufe von peristaltischen Bewegungen erfordern Zeitschaltungen in den Größenordnungen von einer halben, einer Minute und mehr.

3. Anschluß des Videokymographiegerätes an einen Durchleuchtungsarbeitsplatz

Das Fernsehkyomographiegerät haben wir als Videokymograph bezeichnet (Abbildung 3). Dieses Gerät wird an einen Röntgenbildverstärker mit 25 cm Eingangsschirm angeschlossen. Dabei wird lediglich das Videosignal am BAS-Ausgang des Untersuchungsmonitors abgenommen und mit dem Eingang des Videokymographen verbunden (Abbildung 4). Das Gerät kann auch außerhalb des Untersuchungsraumes aufgestellt werden. Am Kommandoarm des Zielgerätes ist ein Druckschalter angebracht, der über Kabel mit dem Videokymographen verbunden ist. Damit kann gleichzeitig der Verschluß der Kamera und der Ablauf des

Zeilenrasters ausgelöst werden.

Während einer normalen Routinedurchleuchtung kann ohne Störung des Untersuchungsablaufes per Knopfdruck das Kymogramm angefertigt werden, wobei der Untersuchungsmonitor auch während des Kymographievorganges das normale Durchleuchtungsbild anzeigt.

4. Fotografische Registrierung des Videokymographiebildes

Anfänglich verwendeten wir eine im Handel erhältliche Kamera für normales Rollfilmformat. Dieser Bildausschnitt erwies sich jedoch zu klein für die Direktbetrachtung. Wir ersetzten sie später durch eine Spezialanfertigung einer Kamera, die für den Ansatz von 100 mm Blattfilmkassetten eingerichtet war und wahlweise den Einsatz einer Polaroid-einzelbildkassette zuließ.

Das Aufnahmesystem wurde dann noch in der Weise vervollständigt, daß entweder 100 mm Blattfilm, die auf eine automatisierte Entwicklung abgestimmt waren, Polaroid-einzelbilder oder Kleinbildaufnahmen in 24 x 24 mm-Format und Diapositivmaterial wahlweise verwendet werden konnten. Eine sehr große Erleichterung für die Routineanfertigung von Videokymogrammen bedeutete die 3. Ausbaustufe des Videokymographen mit einer automatischen Filmtransportmöglichkeit. Bei diesem Gerät, das in der Klinik zusammen mit einem fernbedienbaren Durchleuchtungsgerät eingesetzt wird, kann die Auslösung des Kameraverschlusses, der Kymogrammaufbau und der Filmtransport vom Kommandopult des Durchleuchtungsarbeitsplatzes aus mit einem einzigen Knopfdruck bedient werden.

5. Vergleich der Videokymographie mit der Direktkymographie

Bei 60 Patienten, die uns zur Herzkymographie überwiesen wurden, fertigten wir sowohl die übliche Direktkymographie und Fernsehkymographien an. Die klinische Fragestellung bezog sich bei diesen Patienten im wesentlichen auf 2 Hauptgruppen, die den größten Prozentsatz

des Untersuchungsmaterials ausmachten. Etwa 40 % der untersuchten Patienten hatten einen Herzinfarkt erlitten, zeigten im EKG Veränderungen und die klinische Fragestellung galt einem möglichen Herzwandaneurysma.

Mit dem Kymogramm sollte das Vorhandensein, die Lokalisation und die Ausdehnung der Herzwandveränderung ermittelt werden.

Bei der anderen, fast gleich großen Gruppe von Patienten betraf die Fragestellung die Differenzierung zwischen Perikarderguß und dilatier-tem vergrößerten Herzen. Die weiteren Fragestellungen erstreckten sich auf Aortenvitien, Tumoren des Herzens und Aneurysmen der Aorta. Es war von Anfang an nicht beabsichtigt, einen Vergleich der Bildqualität anzustellen, da schon aus theoretischen Überlegungen die Qualität des Fernsehbildes der des Direktbildes unterlegen sein mußte. Bei dem Vergleich sollte festgestellt werden, ob die Qualität des Fernsehbildes ausreicht, um zu einer richtigen oder gleichwertigen Diagnose mit dem Direktbild zu kommen. Es stellte sich dabei sogar heraus, daß die Fernsehkympographie in der Bildqualität wenigstens annähernd eine gewisse Gleichwertigkeit mit dem Direktbild ergab (Abbildung 5 a und 5 b). Man erkennt den Unterschied in den Reproduktionen bei der Fernsehaufnahme praktisch nur an ihrer paari-gen Zeilenanordnung. Die Entwicklung der Bildverstärker wird zum jetzigen Zeitpunkt sicherlich nicht abgeschlossen sein, es wird sowohl die Bildqualität des Bildverstärkers als auch die des Fernsehens eines Tages der Direktaufnahme vollkommen gleichwertig sein, so daß die Bildqualität der Videokymogramme der von Direktbildern in nichts nachstehen wird.

Eine volle Übereinstimmung ergab der Vergleich der Direktaufnahmen mit der Fernsehkympographie bezüglich der diagnostischen Aussage. Man trifft dabei außerdem auf eine Überlegenheit der Fernsehkympographie, da sie während der Durchleuchtung angefertigt werden kann und die betreffenden fraglichen Herzrandbezirke deutlicher ins Bild gerückt werden und außerdem Aufnahmen in mehreren Ebenen ohne zusätzliche Strahlenbelastung gemacht werden können.

6. Vergleich der Dosisbelastung des Patienten bei der Video- bzw. Direktkymographie

Die Dosis, die für die Anfertigung einer Direktkymographieaufnahme benötigt wird, beträgt ca. 2 R. Ursprünglich wollten wir diese Strahlenbelastung mit der Videokymographie vergleichen. Wir haben aber die Erfahrung gemacht, daß die Patienten, bei denen eine Kymographie angefordert wurde, fast ausnahmslos auch einer Röntgendurchleuchtung unterzogen wurden. Wir haben die Dosis der Thoraxdurchleuchtung im Mittel registriert und dabei mittlere Durchleuchtungszeiten von 80 Sek. mit einem Dosisflächenprodukt von ungefähr $400 \text{ R} \times \text{qcm}$ festgestellt. Wurde eine Videokymographie des Herzens im pa-Strahlengang durchgeführt, konnten wir bei etwa 20 Patienten keine Erhöhung der mittleren Durchleuchtungszeit bzw. des Dosisflächenproduktes feststellen.

Dies besagt, daß bei einem Vergleich von Direkt- und Videokymographie bei der Videokymographie praktisch überhaupt keine zusätzliche Strahlenbelastung vorhanden ist, dagegen jedoch voll bei der Direktkymographie. In Zahlen ausgedrückt würde das eine 100 %ige Dosis-einsparung bedeuten.

Die Feststellung, daß es zu keiner längeren Durchleuchtungszeit bei der zusätzlichen Anfertigung einer Videokymographieaufnahme kommt, ist nicht weiter erstaunlich, weil die Herstellung der Videokymographie keine Unterbrechung des Monitorbildes bedeutet. Während der Exposition kann bei der Videokymographie bei Atemstillstand in mittlerer Atemphase das Durchleuchtungsobjekt ohne Unterbrechung beurteilt werden.

7. Elektronenoptisch umschaltbarer Bildverstärker und seine Auswirkung auf die Videokymographie

Die meisten Bildverstärkerfernsehanlagen sind heutzutage mit einer elektronenoptischen Bildumschaltung ausgerüstet. Dabei wird auf dem Primärleuchtschirm ein kleineres Ausgangsfeld gewählt, dessen Bild auf das volle Feld des Sekundärleuchtschirms gebracht wird. Bei die-

sen früheren Untersuchungen haben wir bereits festgestellt, daß bei den Indirektaufnahmen, d. h. in 70 oder 100 mm-Aufnahmen vom Bildverstärker die elektronenoptische Vergrößerung ganz entscheidende Vorteile bringt. Dies kann an Hand eines Strichlinienrasters festgestellt werden, die eine Besserung der Auflösung von über zwei Perioden pro Millimeter erbringt, während bei Gesamtausnutzung des primären Einganges gerade 2 Perioden pro Millimeter aufgelöst werden, bei einem Bleiraster von 0,5 Stegbreite. Bei der Videokymographie ist das Ergebnis an der Zackengröße zu erkennen, d. h. die Aufnahmen mit Ausnützung der elektronischen Vergrößerung lassen eine exaktere und feinere Analyse der Zackenform zu.

8. Vorteile der Videokymographie gegenüber der Direktkymographie bei wählbarer Zeilen- bzw. Bleischlitzrasterfrequenz

Beim Gesunden differiert die Herzfrequenz nicht sehr wesentlich. Anders ist dies bei herzkranken Patienten, die einmal sehr frequent, also tachykard, zum anderen sehr bradykard sein können mit einer relativ großen Variationsbreite. Bei der Videokymographie wird das Herz in Durchleuchtung direkt betrachtet. Die Frequenz kann sofort abgeschätzt und die notwendige Zeilenablauffrequenz mit einem Handgriff eingestellt werden. Bei der Direktkymographie ist bei vielen Geräten die Ablauffrequenz nicht beeinflussbar. Bei einer Tachykardie sind also meist 5 bis 6 Herzaktionen in einem Streifen registriert, so daß die Zackenform nur mehr schwer zu analysieren ist. Bei einer Bradykardie kann es vorkommen, daß nicht einmal eine Aktion voll oder nur zwei halbe Phasen zweier verschiedener Herzaktionen erfaßt wurden.

Diejenigen Direktkymographien, bei denen keine Durchleuchtungsmöglichkeit besteht, werden im allgemeinen von medizinisch technischen Assistentinnen durchgeführt. Gerade hier führt oft die falsch gewählte Rasterfrequenz zu unnötigen Mehraufnahmen und zu erheblichen Strahlenbelastungen.

Bei der Videokymographie kann dagegen das Polaroidbild unmittelbar

nach der Durchleuchtung betrachtet werden, zu einem Zeitpunkt also, wo der Patient noch im Untersuchungsgerät steht, und eine Wiederholung bei einer Fehlaufnahme unmittelbar angeschlossen werden kann, so daß der gesamte Untersuchungsablauf zeitlich gegenüber der Direktkymographie erheblich verkürzt wird.

9. Angiocardio-Videokymographie

Da das Kymographiegerät den Untersuchungsablauf nicht stört und außerdem örtlich weit vom Untersuchungsgerät getrennt stehen kann, ist eine allgemein viel breitere Anwendung der Videokymographie gegeben. Ein Beispiel ist die Angiocardiographie, bei der bis jetzt eine Kymographie des kontrastmittelgefüllten Ventrikels technisch praktisch nicht durchführbar war. Man hätte nur mit Hilfe einer 2. Kontrastmittelinjektion zu einem solchen Bild gelangen können. Dies hätte jedoch gleichzeitig eine Gefährdung des Patienten bedeutet, da jede weitere Kontrastmittelinjektion in den Ventrikel ein erhöhtes Risiko darstellt.

Da die Videokymographie das Bild nicht stört und synchron während röntgenkinematographischen Aufnahmen angefertigt werden kann, ist die Einführung der Kymographie in die Cardangiographie ohne weiteres möglich.

Um die Aussagekraft eines Angiocardiovideokymogramms zu prüfen, haben wir Kontrastmitteluntersuchungen an Hunden durchgeführt.

a) Angiocardio-Videokymographien bei Hunden

Insgesamt wurden 10 Tierversuche durchgeführt. Mittelschwere Hunde wurden mit Nembutal narkotisiert, intubiert und künstlich beatmet. Der Zugang zum Herzen war am leichtesten über die A. Carotis communis möglich. Zu diesem Zweck wurde das Gefäß mit einem kleinen Schnitt freigelegt. Über eine kleine Inzision wurde ein Katheter mit verschließbarem Endloch und mehreren Seitenlöchern in den linken Ventrikel eingeführt. Je nach Größe des Hundes wurden in den linken Ventrikel 5 bis 20 ml Kontrastmittel (Konray 60) mit einer automatischen Injektionsspritze mit

einem Flow von 15 ml pro Sekunde injiziert. Nach Einspritzung der Gesamtmenge des Kontrastmittels wurde das Kymogramm gefertigt. Das Ergebnis waren eindrucksvolle Kontrastmittelfüllungen des Ventrikels im kymographischen Bild (Abb. 6). Dabei ergeben sich ähnlich wie bei Randbewegungen des leeren Herzens wesentlich übereinstimmende Zackenformen, deren Anfangs- und Endpunkte infolge der Kontrastdichte jedoch eindeutig exakter analysierbar sind. Außerdem erhält man mit einem Blick eine Übersicht über den ganzen Ventrikel mit seinen Bewegungsabläufen in den einzelnen Abschnitten, die relativ unterschiedlich ausgeprägt sind. Mit Hilfe des Ventrikologrammes ist ohne weiteres eine Analyse der Bewegungskomponenten des Herzens wenigstens zum Teil möglich, vor allem kann die Seitwärtsbewegung exakt ermittelt werden. Paradoxe Bewegungen bewegungsarmer Gebiete können sofort erkannt werden, ohne daß dazu wie bisher die Betrachtung eines filmischen Vorgangs notwendig ist. Ein gewisser Nachteil ist die Beeinflussung des Herzens durch die Kontrastmittelinjektion, die mit einer abnormen Herzbewegung beantwortet werden kann. Inwieweit dies für alle Kontrastmitteluntersuchungen zutrifft, kann anhand der 10 Tierversuche nicht beantwortet werden. In einem Fall wurde eine Frequenzänderung des Herzens festgestellt, indem auf die Kontrastmittelinjektion das Herz in der Diastole längere Zeit verharrte, um dann wieder zu seinem gewohnten Rhythmus zurückzukehren. Im Kymogramm stellt sich diese Bewegung als breitere Herzzacke gegenüber den anderen Phasen dar. Im Ventrikelkymogramm stellen wir eigentlich nur Bewegungen der Herzinnenwand dar und können nur indirekt auf die Herzwand schließen. Bei guter technischer Einstellung ist es möglich, die Zackenformen der Herzinnenwand wie auch der Herzaußenwand synchron zu bekommen. Auf diese Weise kann man auch zu einer relativen und sicher beschränkten Aussage über die Ventrikelmuskulatur kommen.

b) Durchführung der Angiocardio-Videokymographie beim Menschen

Es wurde versucht, die Videokymographie nach den Erfahrungen

im Tierversuch auch am Menschen einzusetzen. Leider ist dies nur an Anlagen möglich, die eine Synchronisationseinrichtung der Fernsehanlage mit der Kinokamera besitzen. Eine solche Einrichtung ist leider nur einmal in Deutschland vorhanden. Wir haben unsere Aufnahmen an Anlagen durchgeführt, bei denen die Röhre im Kinopulsbetrieb gesteuert wird. Diese Pulsung erlaubt keine kontinuierliche kymographische Bildaufzeichnung. Man kann diesen Nachteil durch eine sehr hohe Bildfrequenz einigermaßen ausgleichen. Man gelangt so zu Aufnahmen, bei denen die Kymogramme etwas durch die Pulsung überlagert sind, die aber insgesamt erkennen lassen, daß die Angiocardiokymographie die gleiche Aussage erbringt wie im Tierversuch.

Die Dokumentationsart in der Cardangiographie ist verschieden. Meist ist es der Kinofilm, Serienaufnahmen oder Bandspeicher. Für die Videokymographie ist der Bandspeicher am besten geeignet, da die Anfertigung eines Angiovideokymogramms auch von der gespeicherten Szene eines Videobandes beliebig oft abgenommen werden kann, weil dabei wahlweise verschiedene Phasen ausgewählt werden können.

10. Anwendung der Videokymographie zur Durchflußmessung in der Angiographie

Die bisher genannten Anwendungsgebiete beschränken sich auf Bewegungsanalysen von Organrändern. Die Videokymographie ist, da sie die eigentliche Röntgenroutineuntersuchung wenig stört, wie bereits in der Angiocardiographie erwähnt, aber noch vielseitiger einsetzbar als die Bleischlitzrasterkassette, die die gleichzeitige Durchleuchtung nicht gestattet. Ein weiteres Gebiet, das für die Videokymographie sehr geeignet erscheint, ist die Durchflußmessung in der Angiographie.

Die quantitative Erfassung der Durchflußverhältnisse in den Gefäßen hat noch keinen Eingang in die angiographische Routinediagnostik gefunden, obwohl gerade die Angiographie für eine solche Auswertung geeignet ist. Die bisherigen Verfahren erfüllen hierzu nicht in ent-

sprechendem Maße bestimmte Voraussetzungen. Eine Meßmethode findet erst dann Anwendung in der Routinediagnostik, wenn sie sich ohne zeitlichen Mehraufwand, d. h. rationell bei vielen Patienten durchführen läßt. Bei den bisherigen Messungen ohne zusätzliche Eingriffe in die Gefäße wurden die Durchflußwerte mit Hilfe der Cine- und Videodensitometrie erfaßt und graphisch dargestellt. Meist wird dazu die Durchleuchtungsszene mit einer Probeinjektion des Kontrastmittels bandgespeichert und bei der Wiedergabe ausgewertet. Ein solches Verfahren bedeutet aber auch einen relativ großen Zeitaufwand und ergibt nur eine Aussage über einen speziell ausgewählten Gefäßabschnitt. Deshalb muß nach Verfahren gesucht werden, die neben dem rationellen Meßablauf eine Übersicht der Durchflußverhältnisse im gesamten Durchleuchtungsbild ermöglichen. Diese Voraussetzungen sind bei der Messung von Durchflußgeschwindigkeiten mit Hilfe der Videoflächenkymographie gegeben. Die Umsetzung der bisherigen Flächenkymographie in die Fernsehtechnik schafft die Voraussetzung für eine unproblematische Anwendung der Routineangiographie mit sofort dokumentierbaren Ergebnissen. Die Flächenkymographie mittels einem in einer Speziale Kassette ablaufenden Bleischlitzraster wurde bereits auch schon in der Angiographie angewendet, sie ist aber mit einer umständlichen Handhabung verbunden und gerade in der Angiographie, wo der Arzt sich intensiv auf den Patienten einstellen muß, nicht akzeptabel.

Bei der Angiovideokymographie wird die laufende Untersuchung praktisch nicht gestört, es genügt wiederum nur ein Knopfdruck. Läßt man das hellgetastete Zeilenraster während einer kurzen Probeinjektion ablaufen, so zeigt sich bei einem in vertikaler Bildrichtung verlaufenden Gefäß, das von oben nach unten durchströmt wird, ein bestimmter verteilter Verlauf des Kontrastmittels (Abb. 7). Dabei sind die hellgetasteten Zeilen des ersten Halbbildes nach Beginn des Rasterablaufes markiert. Zwei dieser Zeilen sind als Startlinie AB bezeichnet. Die Kontrastmittelfront wird in dem Streifenabschnitt, der mit der Startlinie A beginnt, erst nach n hellgetasteten Zeilen erfaßt (Kontrastmittelfront I). In einem weiter unten liegenden Streifenabschnitt, der mit der Startlinie B beginnt, stellt sich die Kontrastmittelfront II erst nach m hellgetasteten Zeilen dar, weil das Kontrast-

mittel erst die Strecke zurücklegen mußte. Die Zeit für diese Wegstrecke kann aus der Zeilendifferenz $m - n$ und der Folgefrequenz $\frac{f}{B}$ der hellgetasteten Halbbildrastrer als $\frac{f}{B}$ durch $m - n$ sofort ermittelt werden. Die Durchflußgeschwindigkeit ergibt sich dann einfach aus der Wegstrecke D und der Durchflußzeit. Der Maßstabfaktor F , mit der die wirkliche Länge des Gefäßabschnittes D bestimmt wird, läßt sich durch einen röntgendichten Maßstab einfach erfassen. Aus dem sofort entwickelten Polaroidbild läßt sich die Durchflußgeschwindigkeit ablesen, wenn der röntgendichte Maßstab gleich mit aufgenommen wurde. Da sich die Durchflußgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Kreislaufphase stark ändert, ist es unter bestimmten Voraussetzungen erforderlich, die Kontrastmittelspritzung mit einem EKG gesteuerten Kontrastmittelinjektor vorzunehmen, der auch gleichzeitig das Videokymographiegerät auslöst (Abb. 8). So kann die Durchflußmessung vollautomatisch ablaufen, wobei nur eine geringfügige Kontrastmittelmenge von 2 - 3 ml notwendig ist. Ein Beispiel zeigt die Abb. 9. Hier wurde die max. Durchflußgeschwindigkeit in der A. mesenterica cranialis gemessen. Auf dem Bild wurde eine Geschwindigkeit von etwa 70 cm pro Sekunde ermittelt. Die Durchflußgeschwindigkeit in dieser Arterie ist wegen einer Stenose der A. coeliaca gegenüber dem normalen Wert erhöht. Das Kontrastmittel stellt über Kollateralverbindungen die A. coeliaca mit dar (Abb. 10). Ein solches Angiovideokymogramm gibt auch sofort Auskunft über Durchflußverhältnisse in anderen Gefäßabschnitten des Durchleuchtungsbildes. Eine verminderte Strömungsgeschwindigkeit in einem Gefäß kann im Videokymogramm ohne weiteres erkannt werden. Meßschwierigkeiten ergeben sich bei hohen Durchflußgeschwindigkeiten und relativ kurzen Gefäßstrecken. Die A. renalis z. B. gibt eine schlechte zeitliche Auflösung infolge der Fernsehbildfrequenz von 50 Bildern pro Sekunde. Eine Erhöhung der Fernsehbildfrequenz auf 100 Bilder pro Sekunde kann die zeitliche Auflösung für diesen Gefäßbereich verbessern.

11. Funktionsdarstellung des Ösophagus mit Hilfe der Videokymographie

Der Ablauf der Ösophagusperistaltik kann auf einfache Weise mit Hilfe der Videokymographie dargestellt werden. Hier erfolgt die Aufzeichnung des Videokymogramms während der Durchleuchtung ohne Unterbrechung des Durchleuchtungsbildes. Nachdem der Patient einen Kontrastmittelschluck zu sich genommen hat, wird er aufgefordert zu schlucken und im selben Augenblick wird der Ablauf des Videokymogramms ausgelöst. Es wurden 20 Ösophagusdarstellungen vorgenommen bei Normalpatienten; dabei ergibt sich im wesentlichen eine relativ eintönige Form des Ösophaguskymogramms mit den einzelnen Rasterabschnitten. Im wesentlichen ist es eine Art nach unten sich verjüngendes Trapez oder räumlich gesehen ein Kegelabschnitt, mit der Spitze des Kegels nach unten. Dieses Bild ist die häufigst wiederkehrende Form beim normalen Ösophagogramm (Abb. 11). Anders ist es bei einer gestörten Ösophagusfunktion wie z. B. (Abb. 12) bei einer Sklerodermie die auf den Ösophagus übergegriffen hat und zu einer Starre des Ösophagus geführt hat. Hier ist die Ösophagusform im Videokymogramm ein Parallelogramm bzw. in der räumlichen Sicht ein Zylinderabschnitt, d. h. der Ösophagus ist starr und weist keine Kontraktionen hinter dem Kontrastmittelbolus auf. In ähnlicher Weise sind auch Funktionsstörungen bei Ösophaguscarzinomen in einzelnen Ösophagusabschnitten bei einer Wandstarre zu erkennen. Das Videokymogramm des Ösophagus ist ein einfaches neben der Routinediagnostik parallellaufendes Untersuchungsverfahren, das auch hierbei keinerlei Belastung für den Patienten darstellt, doch einige diagnostische Rückschlüsse bzw. eine Dokumentation der Ösophagusbewegung erbringt.

12. Videokymographie der Zwerchfelle

In der Routinediagnostik wird bei Veränderungen des Zwerchfellstandes immer nach der Ursache gefragt, z. B. bei einem Zwerchfellhochstand, ob es sich hierbei etwa um eine Lähmung des Zwerchfelles

oder um einen durch einen intraabdominellen Tumor bedingten Hochstand handelt. Man ist dann auf die Aussage des Durchleuchters angewiesen, da hier eine Dokumentation der Zwerchfellbewegung nicht vorliegt. Zur Analyse der Zwerchfellbewegung ist die Kymographie hervorragend geeignet. Allerdings steht bei der Direktkymographie die Strahlenbelastung unter Umständen in keinem Verhältnis zur klinischen Fragestellung.

Bei der Videokymographie ergeben sich zur Darstellung der Zwerchfelle einige Schwierigkeiten. Die Zeilenablafebene kann zum Patienten nicht ohne weiteres gedreht werden.

Theoretisch ist eine Manipulation an der Fernsehaufnahmeröhre z. B. durch eine Drehung derselben möglich, jedoch bei den vollkommen abgedeckten Geräten nicht ohne größeren Aufwand möglich. Wir haben einige Zwerchfellanalysen vorgenommen, was uns mit Hilfe eines speziellen Durchleuchtungsarbeitsplatzes ermöglicht wurde. Die Konstruktion des erwähnten Durchleuchtungsarbeitsplatzes (Orbiskop Fa. Siemens) ermöglicht eine freizügige Projektion der Organe in allen Gerätelagen. Das System Röntgenröhre - Bildverstärker läßt sich bei diesem Gerät um den Patienten sowohl nach rechts als auch nach links schwenken; gleichzeitig kann der Patient plus oder minus 90 Grad um seine Achse gedreht werden. Durch diese Technik ist es unter anderem auch möglich, innere Organe vielseitig tangential zu durchleuchten. Die Einstellung der Zwerchfelle für eine videokymographische Aufnahme erfordert jedoch eine ganz ungewöhnliche Patienten- und Bildverstärkeranordnung. Das Gerät wird zunächst in horizontale Lage gebracht, das Bildverstärkerdurchleuchtungssystem von der gewohnten Durchleuchtungsebene seitwärts gedreht, so daß normalerweise der Patient im Liegen in Rechtsseitenlage posterior und anterior durchleuchtet werden würde. Der Patient befindet sich jedoch nicht auf dem Lagerungstisch, sondern steht senkrecht zu dieser Ebene auf dem Boden des Untersuchungsraumes. Der Bildverstärker ist dabei um 90 Grad gegenüber der üblichen Durchleuchtungsposition gedreht. In dieser Stellung befinden sich die Zwerchfelle als angenommene horizontale Linien senkrecht zu dem Zeilenablauf und damit in der richtigen Aufnahmeposition. Die videokymographischen Aufnahmen

sind in ihrer Qualität durchaus ausreichend zur Beurteilung der Zwerchfelle. Ein gewisser Nachteil ist die Eingangsebene des Bildverstärkers bei dem beide Zwerchfelle nicht in ihrer gesamten Ausdehnung zur Darstellung kommen können. Es genügt jedoch eine Seite mit der Hälfte der anderen zur Beurteilung des synchronen Standes, so daß eine gesamte Darstellung beider Zwerchfelloberflächen gar nicht notwendig ist, da die pathologischen Prozesse sich meist nur auf eine Seite beschränken und die andere Hälfte des Zwerchfells als ausreichende Referenz dient.

13. Videokymographie des Magens

Der Rasterablaufzeit des Videokymographen sind, wie bereits erwähnt, nach oben keine Grenzen gesetzt. Man kann ohne weiteres eine Magenperistaltik im Videokymogramm realisieren. Der Peristaltikablauf bewegt sich im Zeitraum von 20 Sekunden bis Minuten. Jedoch wurde die Feststellung gemacht, daß die Magenperistaltik der Röntgendiagnostik keine entscheidenden Ergebnisse bringen, da die Bildbandspeicherung wesentliche Vorteile bietet, weil hier die Atmung nicht stört. Bei der Anfertigung eines Videokymogrammes oder Direktkymogrammes ist das Bild fast immer durch Atmungsüberlagerungen gestört. Bei genaueren Peristaltikuntersuchungen ist die Röntgenkymographie dann das Mittel der Wahl.

D) DISKUSSION

Bei der Übertragung der Flächenkymographie in das Fernsehen wird man mit großer Wahrscheinlichkeit mit der Frage konfrontiert werden: Ist es heute im Zeitalter der Röntgenkinematographie des Bandspeichers, der Elektrokymographie und der Videodensitometrie noch sinnvoll, ein solches Verfahren in die Palette der übrigen diagnostischen Verfahren einzuführen?

Die Antwort darauf ist relativ einfach. Es gibt keine andere Methode außer eben der Flächenkymographie, bei der eine Funktionsdarstellung, also die Registrierung eines Bewegungsvorganges in ein anatomisches Bild eingekleidet ist. Als hauptsächliche Anwendung erscheint uns das Gebiet der Infarkt- bzw. Aneurysmadiagnostik des Herzens, die Differentialdiagnose Tumor oder Aneurysma, sowie Aorteninsuffizienz und Aortenaneurysma. Die Transformation dieses Verfahrens in das Fernsehen ist aus strahlenhygienischen Gründen einwandfrei belegt. Die Qualität des Fernsehbildes ist für diagnostische Zwecke ausreichend. Außerdem sind neue Anwendungsgebiete mit der Videokymographie erschlossen worden. Es erscheint der Einsatz im Bereich der Angiocardiographie als Angiocardiokymogramm zur Beurteilung der einzelnen Herzwandabschnitte im Bereich des Ventrikels als sinnvoll, gerade im Hinblick auf die Routinediagnostik. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit in der Angiographie mit Hilfe der Videokymographie mit der auf einfache Weise die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt werden kann. Insgesamt ist die Videokymographie vielseitig in der Klinik einzusetzen, insbesondere weil der übliche Routineuntersuchungsablauf durch das Gerät nicht beeinträchtigt wird. Die Weiterentwicklung der Bildverstärkerqualität und der Qualität des Fernsehbildes ist sicher ein Prozeß, der noch nicht am Ende seiner Entwicklung steht. Es ist heute fast der Tag abzusehen, an dem die Bildqualität der Indirektaufnahme und möglicherweise auch des Fernsehbildes den Standard einer Filmfoliendirektaufnahme erreicht haben wird. Zu diesem Zeitpunkt wird man soweit es immer möglich sein wird, auf Direktaufnahmen verzichten; nicht zuletzt aus Gründen des

Strahlenschutzes. Zum anderen wird die aufwendige Manipulation mit der Kassette, der Kassettentransport und die heute immer noch relativ unzeitgemäße Arbeit in der Dunkelkammer wegfallen. Es ist also durchaus denkbar, daß die Videokymographie verbreitet in das Repertoire der Routinediagnostik aufgenommen wird.

E) ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Videokymographie wurde ein neues röntgendiagnostisches Verfahren geschaffen, das eine Art Transformation der Bleischlitzrasterkymographie in das Röntgenfernsehen darstellt.

Die Videoflächenkymographie ist im Vergleich mit der bisherigen Flächenkymographie in der Bildqualität ausreichend und hat entscheidende Vorteile. Eine wesentliche Bedeutung kommt der Videokymographie mit der geringen Strahlenbelastung des Patienten zu, die nur Bruchteile der hohen Strahlenbelastung der Direktkymographie ausmacht und praktisch vernachlässigt werden kann.

Dadurch können Aufnahmen in vielen Ebenen gemacht werden. Die Herzwand wird durch die Videokymographie in vielen Ebenen diagnostisch zugänglich.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit, bei der die Direktkymographie aus technischen und strahlenhygienischen Gesichtspunkten nicht oder nur sehr bedingt einsetzbar war, ist die Angiocardiographie.

Es können routinemäßig Angiovideokymographien angefertigt werden, die die Funktion der Ventrikelwand auf einer Aufnahme dokumentierbar machen.

Die Durchflußgeschwindigkeit in der Angiographie kann mit Hilfe der Videokymographie auf einfache Weise routinemäßig ohne Belastung des Patienten gemessen werden.

Die Ösophagusfunktion läßt sich durch ein Videokymogramm erfassen und liefert wertvolle diagnostische Hinweise.

Ein weiteres Anwendungsgebiet der Videokymographie ist die Dokumentation der Bewegung der Zwerchfelle.

Die Videokymographie wurde im klinischen Routinebetriebe erprobt. Das Verfahren stellt eine Bereicherung der Röntgendiagnostik dar.

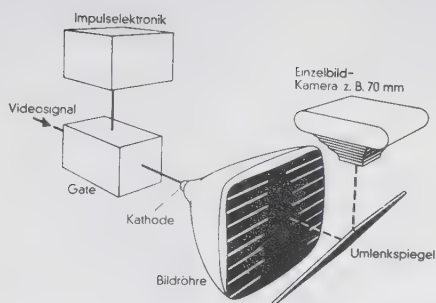


Abb. 1 Schematischer Aufbau des Fernsehkytographie-Gerätes.

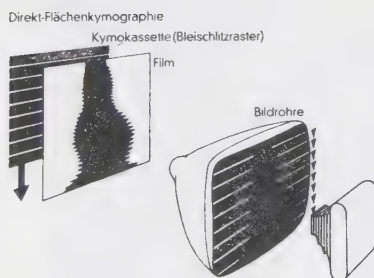


Abb. 2 Prinzip des Fernsehkytographierasters.

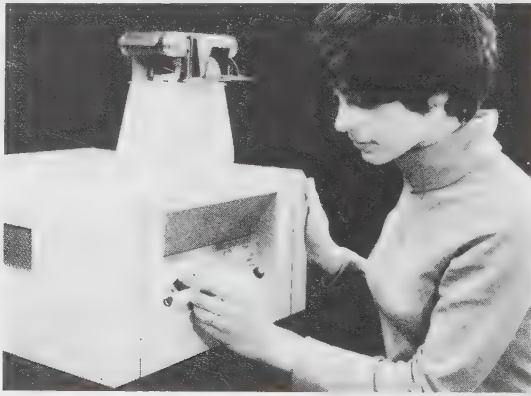


Abb. 3 Ansicht des Videodermographiergerätes.

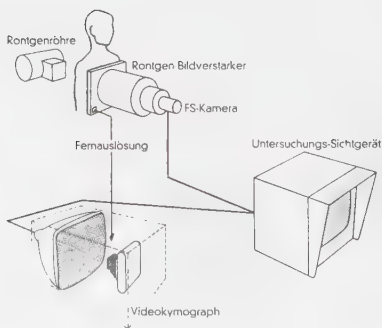


Abb. 4 Videokymographiergerät, angeschlossen an den Durchleuchtungsarbeitsplatz.



Abb. 5 a Linker Herzrand im bisherigen Flächenkymogramm.

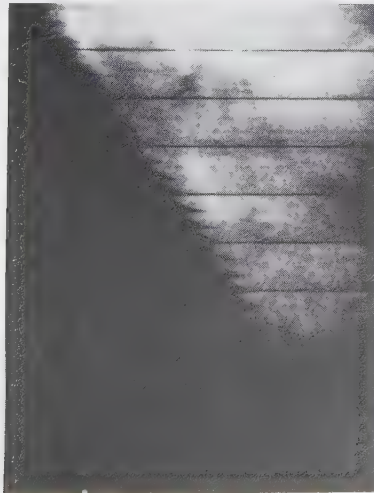


Abb. 5 b Video-Kymogramm desselben Patienten.

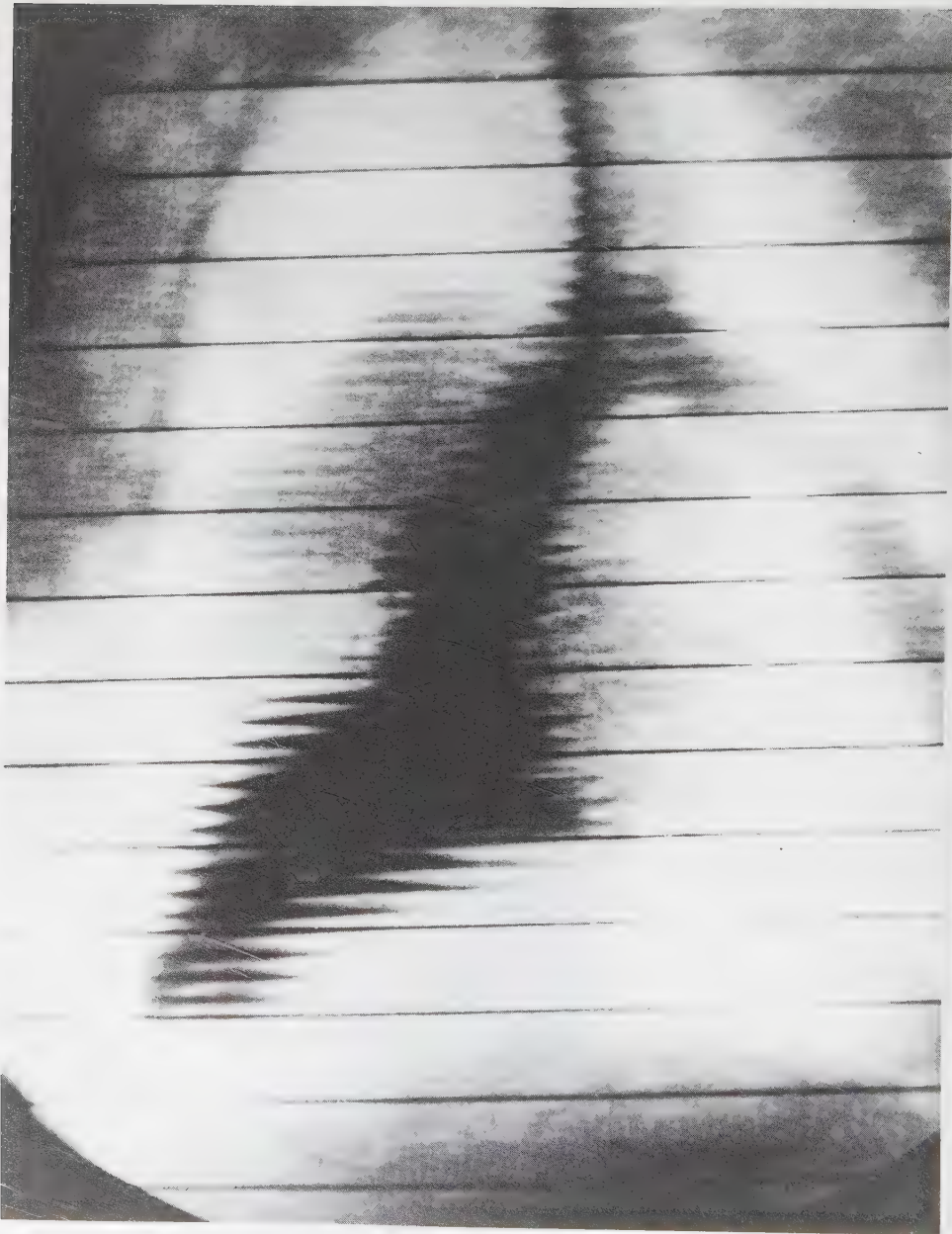


Abb. 6 Angiocardiokymogramm des li Ventrikels eines Hundes.

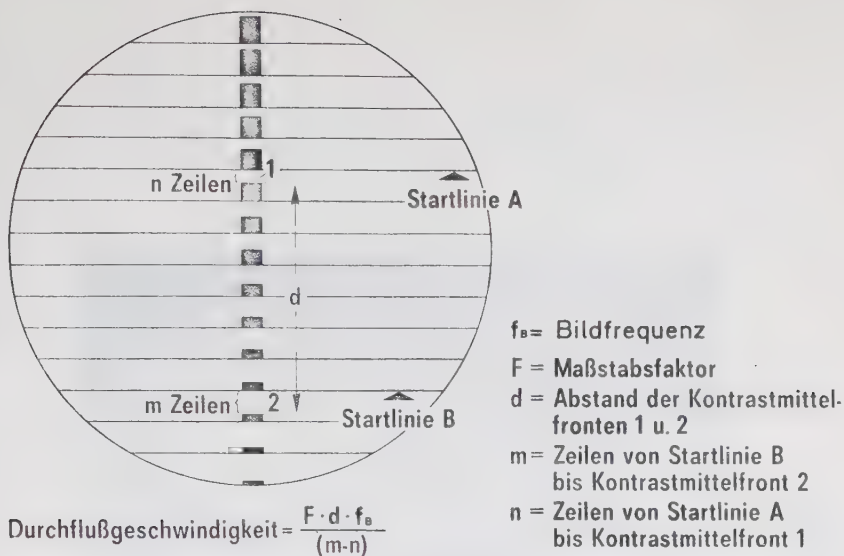


Abb. 7 Bestimmung der Durchflußgeschwindigkeit aus dem Angio-Videokymogramm.

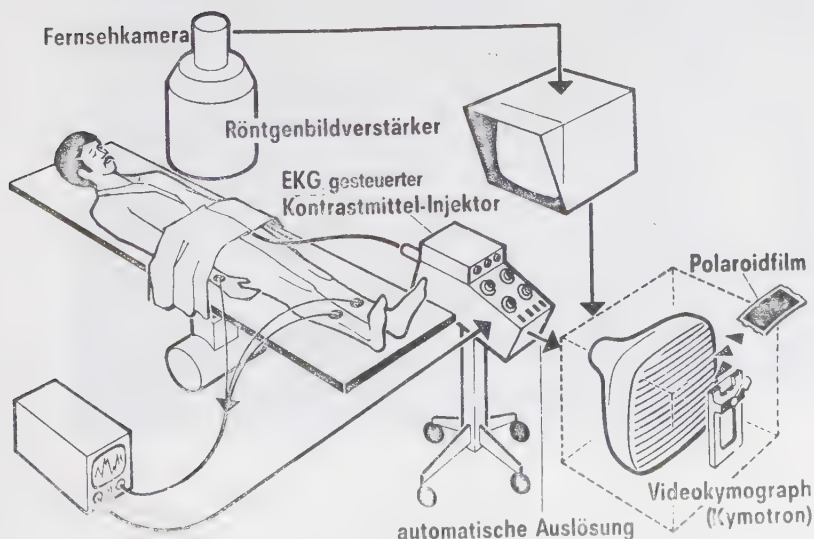


Abb. 8 Angio-Videodermographie mit EKG gesteuerter Auslösung.



Abb. 9 Angiovideokymogramm der A. mesent. cran. bei Verschluss der A. coeliaca.

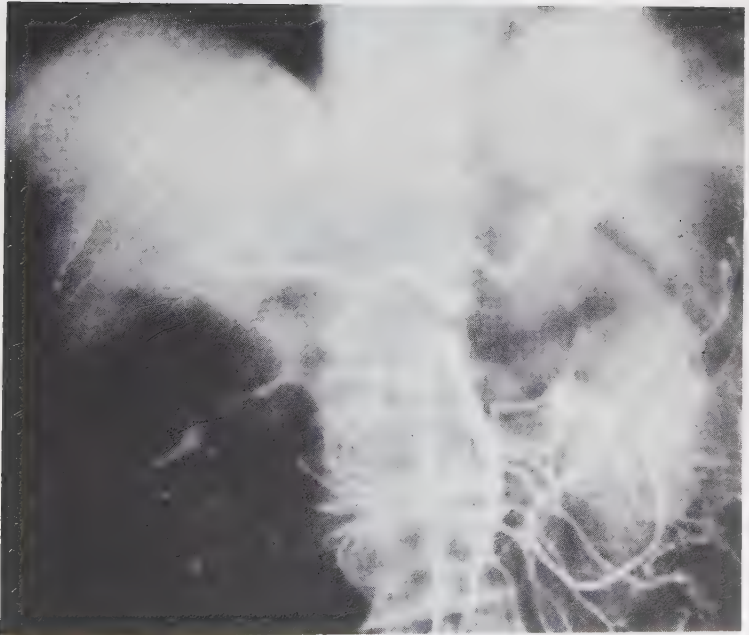


Abb. 10 Angiographie
Selektive Darstellung der A. mesent. cran. Retrograde
Füllung der A. coeliaca, die am Abgang aus der Aorta
verschlossen ist.



Abb. 11 Video-Kymographie eines normalen Oesophagus mit Kontrastmittel.

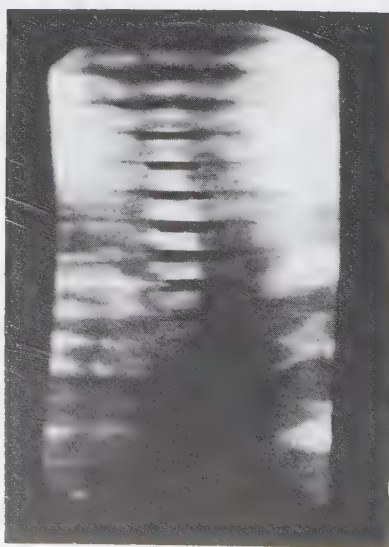


Abb. 12 Video-Kymographie eines Oesophagus bei Sklerodermie.

LITERATUR

- | | | |
|------|-------------------------------|--|
| (1) | SABAT, B. | Über ein Verfahren der röntgenographischen Darstellung der Bewegungen innerer Organe.
Fortschr. Röntgenstr. 20 (1912) 2033 |
| (2) | GÖTT, T.,
J. ROSENTHAL | Münch. med. Wschr. 59 (1912) 2033 |
| (3) | STUMPF, P. | Fortschr. Röntgenstr. 38 (1928) 1055 |
| (4) | STUMPF, P. | Kymographische Röntgendiagnostik
Georg Thieme Verlag (1951) |
| (5) | CIGNOLINI, P. | Acta radiol. Stockholm 116 (1954) 221 |
| (6) | CIGNOLINI, P. | Fortschr. Röntgenstr. 88 (1958) 328 |
| (7) | GÜNTERT, W.,
E. A. ZIMMER | Grundlagen für die Messung der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes mittels einer röntgenkymographischen Meßmethode, Karger, Basel (1957) |
| (8) | BÜCHNER, H. | Röntgen-Bl. 7 (1954) 363 |
| (9) | BÜCHNER, H. | Radiologe 3 (1963) 306 |
| (10) | HECKMANN, K. | Grundriß der Elektrokymographie
Georg Thieme, Stuttgart (1952) |
| (11) | HECKMANN, K. | Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952) 60 |
| (12) | HECKMANN, K. | Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952) 332 |
| (13) | LISSNER, J. | Flächen- und Elektrokymographie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1952 |
| (14) | HAUBRICH, R.,
ODENTHAL, H. | Cardiologia 24 (1954) 225 |

- (15) HAUBRICH, R. Ergebnisse inn. Med. N.F. 6 (1955)
640

- (16) LISSNER, J., Symposion Europ. Gesellschaft für
HAENDLE, H. Kardiologie 1974

- (17) COHEN, S., Amerikan Journal of Cardiol.
SIMON, A.L., 22 (1968) 678
WHITEHOUSE, W.C.,
SCHNETTE, W.H.,
BRAUNWALD, E.

Herrn Prof. Dr. J. Lissner danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas.

Herrn Oberarzt Dr. H. Haendle gilt mein besonderer Dank für die freundliche Unterstützung bei der Arbeit.

LEBENS LAUF

Am 5. September 1948 wurde ich, Hildegard Schröffel, als erstes Kind des Maurermeisters Johann Schröffel und dessen Ehefrau Maria, geborene Spengler, in Itzlishofen, Lkr. Schwabmünchen, geboren.

Von 1954 bis 1960 besuchte ich die Volksschulen zu Willmatshofen und Fischach. Im September 1960 trat ich in das musische Gymnasium zu Göggingen bei Augsburg ein, wo ich im Juli 1967 die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1967/68 immatrikulierte ich mich an der Medizinischen Fakultät der Ludwig Maximilians-Universität München, an der ich am 5. 10. 1970 die Ärztliche Vorprüfung bestand.

Im Sommersemester 1974 exmatrikulierte ich mich und schloß am 28. 6. 1974 die Ärztliche Prüfung an der oben genannten Universität ab.

